

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS DE PEAD REFORÇADOS COM FIBRAS DE COCO: COMPARAÇÃO ENTRE FIBRAS IN NATURA E APÓS TRATAMENTO ALCALINO NA PRESENÇA DE NaBH_4

MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS

ALUNA: RHAYANNA DIZ GONÇALVES

ORIENTADOR: PROF DR SÉRGIO ROBERTO MONTORO

1. INTRODUÇÃO

1.1 - CONTEXTO:

- Plástico - 15% do peso do lixo coletado seletivamente;
- Polietileno de Alta Densidade (PEAD);
- Fibras vegetais - reforços

1.2 – PROBLEMA:

- Os termoplásticos, pertencente à classe de polímeros mais achados nos aterros.

1.3 – RELEVÂNCIA:

- Interesse no desenvolvimento de insumos reforçados com fibras naturais;
- Materiais plásticos biodegradáveis e compostáveis.

2. OBJETIVO

2.1 - OBJETIVO GERAL:

O objetivo principal desta dissertação é desenvolver um material compósito através de uma matriz de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçada com fibra de coco *in natura* e tratada, possibilitando assim a avaliação e caracterização, viabilizando sua aplicação em novos materiais.

2. OBJETIVO

2.2 – OBJETIVO ESPECÍFICO:

- Desenvolver compósitos poliméricos de PEAD e fibras tratadas, com as proporções de 10%, 20% e 30% de fibras;
- Verificar a influência da adição de fibras tratadas e não tratadas nas propriedades mecânicas dos compósitos, através dos corpos-de-prova confeccionados para os ensaios mecânicos de tração e também via determinação dos valores de dureza Shore D;
- Caracterização morfológica via microscopia eletrônica de varredura (MEV) para verificar o efeito do tratamento alcalino na superfície da fibra de coco;
- Determinar os valores de índice de fluidez, para verificar a influência das adições de fibras tratadas e não tratadas na fluidez dos compósitos, visando futuras aplicações na confecção de peças injetadas (levantamento de parâmetros para a produção de peças injetadas).

3. JUSTIFICATIVA

- Fibra de coco verde tem sido reconhecida como alternativa de reforço em matrizes tornando a poliméricas;
- A estrutura macromolecular da fibra de coco;
- Será desenvolvido compósito com fibra tratada.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 – MATRIZES TERMOPLÁSTICAS

- É constituído por uma mistura heterogênea, de dois ou mais constituintes, onde são denominadas de reforço e matriz.
- Podem ser classificados como cerâmicas, poliméricas (termoplásticas ou termorrígidas) e metálicas.

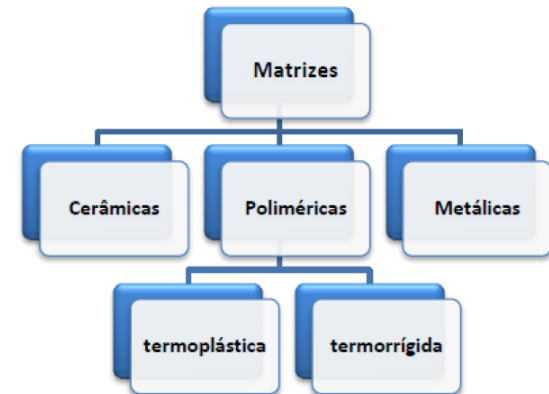


Figura 1 - Classificação de compósitos em relação à matriz.
Fonte: Santos (2012)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1.1 – POLÍMEROS

TERMOPLÁSTICO X TERMORRIGIDO

4.1.2 – POLIETILENO (PE)

Polímeros termoplásticos

4.1.3 – POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD)

A maneira mais comum de fabricar o PEAD é por extrusão, moldagem por injeção e sopro.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2 – REFORÇO DE MATRIZES POLIMÉRICAS

4.2.1 – Fibras naturais e suas composições químicas

- Classificação: Mineral, vegetal e animal.
- São caracterizadas por materiais lignocelulósicos, que são macromoléculas orgânicas constituídas por pectinas, ligninas, hemicelulose e celulosas.

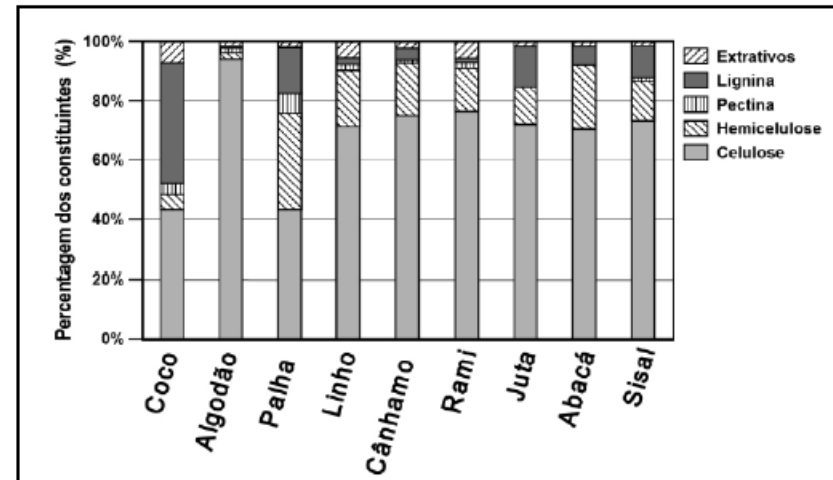


Figura 2 - Composição química de algumas fibras vegetais. Fonte: Albinante et al. (2013)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.2.2 – Fibras de coco

- Adquiridas no mesocarpo (parte espessa fibrosa) como do exocarpo (casca) dos cocos.
- O aproveitamento da fibra de coco verde tem sido analisada como reforço em polímeros.
- Lignina com outros polímeros, em processos adequados, podem resultar em compósitos biodegradáveis.

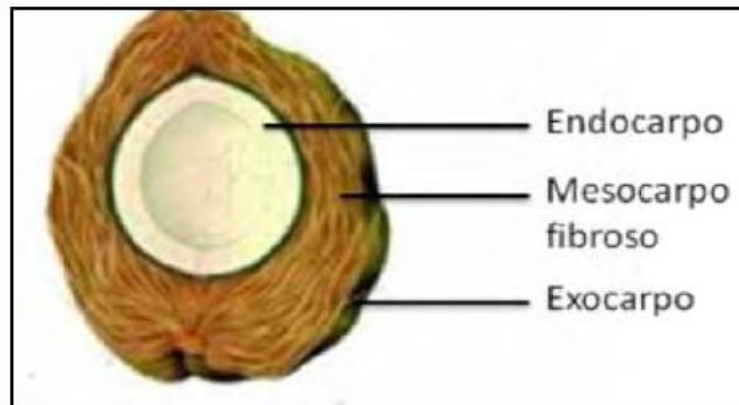


Figura 3 - Seção transversal do fruto do coqueiro. Fonte: Esmeraldo (2006)

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.3. COMPÓSITOS

- Matriz x Reforço
- A matriz possui a relevante função de subdividir a carga pelo compósito, enquanto o reforço é encarregado de suportar aos esforços solicitados

4.3.1 - Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Naturais

- Matrizes termoplásticas
- A inserção de fibras em uma matriz polimérica possuem o intuito de reforçar
- A mistura (fibra - matriz) e moldagem, são as duas principais fases executadas na confecção desses materiais compósitos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.4. TRATAMENTOS SUPERFICIAIS PARA USO EM COMPÓSITOS

4.4.1 – Tratamento das Fibras

- Alteração superficial das fibras *in natura* para que ocorra o aumento de energia superficial.

4.4.2 – Tratamento de Mercerização

- Retira parcialmente os constituintes amorfos solúveis em meio alcalino.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.5. CARACTERIZAÇÕES REALIZADAS EM COMPÓSITOS

1. Tração
2. Dureza
3. Índice de Fluidez

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. MATERIAIS

Polietileno de Alta Densidade (PEAD) - foi utilizado o PEAD da BRASKEM, doado pela UniFOA.

- **Fibra de Coco** - foi adquirida comercialmente.
- **Borohidreto de Sódio (NaBH₄)** - Foi usado o NaBH₄ PA, na forma de pó (98% de pureza) da marca Neon.
- **Hidróxido de Sódio (NaOH)** - Foi usado NaOH em lentilhas PA (98% de pureza) da marca Neon.
- **Processamento dos Compósitos** - Incorporação da biomassa de fibra de coco no PEAD, nas proporções de 10%, 20% e 30% de fibra
- **Confecção dos Corpos de Provas** - utilizado uma injetora termoplástica de bancada.



Figura 7 – Homogeneizador termocinético

5. MATERIAIS E MÉTODOS

• Caracterização Mecânica dos Compósitos

1. **Tratamento químico da biomassa proveniente da fibra de coco** - tratamento alcalino com 5% de NaOH (m/m), com adição de 1% NaBH₄ (m/m), na função de agente protetor.
2. **Análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)** - foram realizadas em um microscópio marca LEO, localizado na Escola de Engenharia de Lorena
3. **Ensaio de Tração** - equipamento de ensaios mecânicos, da marca EMIC disponível no laboratório da UniFOA.
4. **Determinação do índice de fluidez** - foram realizados na Escola de Engenharia da USP de Lorena.
5. **Ensaio de Dureza Shore D** - foi realizado utilizando um durômetro portátil digital com capacidade de 0 a 100 Shore D; no laboratório do (UniFOA).



Figura 8 – Injetora RAY RAM - modelo TSMP

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Resultados do tratamento alcalino da fibra de coco

- Após a secagem da massa de biomassa, foi encontrada uma massa de 48 g. Dessa forma, comparando-se com o valor inicial (60 g), ocorreu uma perda de massa de 12 g.
- As análises por microscopia eletrônica de varredura, determina as características das fibras “in natura” e tratadas quimicamente.
- Analisando as imagens das fibras “in natura” (Figuras A1, A2 e A3), observou-se uma camada lisa superficial, que representa a casca da fibra.
- Com o tratamento de alcalino com NaOH + NaBH₄, (Figuras B1, B2 e B3), as fibras mais externas apresentaram uma superfície rugosa com as fibrilas mais soltas e expostas.

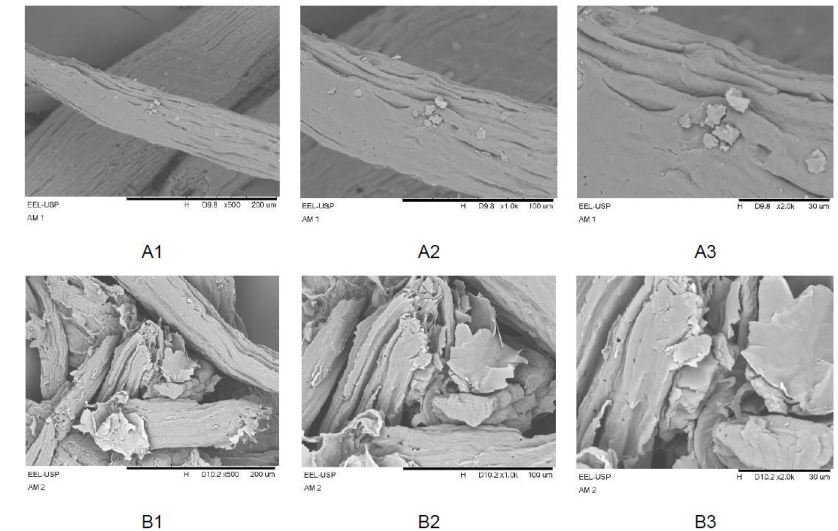


Figura 9 – MEV da biomassa de fibra de coco: (A1) in natura 500x, (A2) in natura 1000x, (A3) in natura 2000x; (B1) após tratamento 500x, (B2) após tratamento 1000x, (B3) após tratamento 2000x.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.2. Resultados dos ensaios de tração – Compósitos com Fibra in natura

- Fibra in natura, não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos até a tensão máxima de resistência à tração,
- Contribuiu para a redução na deformação total do material (alongamento);
- Foi possível observar o aumento nos valores do módulo elástico e da tensão de escoamento com uma conseqüente redução na elongação total dos compósitos.

Materiais	Tensão de Escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Alongamento Percentual (%)
PEAD Puro	9,70 ± 0,6	32,33 ± 0,46	29,90 ± 0,46
PEAD + 10% FC _{in}	9,74 ± 1,17	51,26 ± 3,24	18,89 ± 3,24
PEAD + 20% FC _{in}	6,74 ± 3,95	39,65 ± 0,74	16,99 ± 0,74
PEAD + 30% FC _{in}	12,14 ± 0,25	86,71 ± 0,82	13,63 ± 0,82

(*) valores médios
FC_{in}: Fibra de Coco in natura

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos reforçados com a biomassa de coco in natura.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3. Resultados dos ensaios de tração – Compósitos com Fibra Tratada

- Promoveu uma melhora significativa nas propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras tratadas;
- Devido à remoção de lignina (amorfa) e foi capaz de promover uma melhor dispersão na matriz do PEAD, promovendo uma uniformidade das propriedades mecânicas devido ao aumento gradual do teor de reforço em cada formulação de compósito estudada.
- Comparando os valores das propriedades mecânicas do compósito PEAD + 30% FC_{in} (Tensão_{esc} = 12,14 MPa e E = 86,71 MPa) com o compósito PEAD + 30% FC_{trat} (Tensão_{esc} = 14,93 MPa e E = 123,40 MPa), ocorreu um aumento de 23% no valor da tensão de escoamento e um aumento de 42% no valor do módulo de elasticidade.

Materiais	Tensão de Escoamento (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Alongamento Percentual (%)
PEAD Puro	9,70 ± 0,6	32,33 ± 0,46	29,90 ± 0,46
PEAD + 10% FC _{trat}	11,83 ± 0,19	99,21 ± 3,19	27,62 ± 6,65
PEAD + 20% FC _{trat}	12,11 ± 0,15	105,70 ± 1,78	20,29 ± 3,82
PEAD + 30% FC _{trat}	14,93 ± 0,23	123,40 ± 0,50	18,25 ± 1,17

(*) valores médios
FC_{trat}: Fibra de Coco Tratada

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de tração dos compósitos reforçados com a biomassa de coco tratada.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4. Resultados das análises de Índice de Fluidez – Compósitos com Fibra in natura

- O aumento do teor de biomassa ao PEAD não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos.
- A inserção de biomassa de coco in natura não provocou alterações consideráveis no índice de fluidez do PEAD.

MATERIAIS	ÍNDICE DE FLUIDEZ (g/10 min)
PEAD Puro	14,8 ± 3,2
PEAD + 10% FC _{in}	17,3 ± 2,9
PEAD + 20% FC _{in}	17,5 ± 3,3
PEAD + 30% FC _{in}	15,5 ± 3,3

Tabela 3 – Resultados dos valores de índice de fluidez.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4. Resultados das análises de Índice de Fluidiez – Compósitos com Fibra Tratada

- A inserção de 10%, 20% e 30% de biomassa de coco in natura como a adição de 10%, 20% e 30% de biomassa de coco tratada não provocaram alterações consideráveis no índice de fluidiez do PEAD sendo possível manter sua utilização, mesmo inserindo a porcentagem de 30% de biomassa,

MATERIAIS	ÍNDICE DE FLUIDIEZ (g/10 min)
PEAD Puro	14,8 ± 3,2
PEAD + 10% FC _{Trat}	18,1 ± 3,4
PEAD + 20% FC _{Trat}	17,8 ± 4,1
PEAD + 30% FC _{Trat}	16,9 ± 3,2

Tabela 4 – Resultados dos valores de índice de fluidiez.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3. Resultados dos ensaios de dureza Shore D – Compósitos com Fibra in natura

- Não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro.
- O uso de compósitos reforçados com o referido resíduo poderá acarretar uma redução de 30% no consumo de PEAD puro.

MATERIAIS	DUREZA SHORE D
PEAD Puro	61,4 ± 1,2
PEAD + 10% FC _{in}	62,1 ± 0,6
PEAD + 20% FC _{in}	63,0 ± 1,2
PEAD + 30% FC _{in}	63,7 ± 0,7

Tabela 5 – Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco in natura

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3. Resultados dos ensaios de dureza Shore D – Compósitos com Tratada

- Verificou-se que a adição da biomassa de coco tratada ao PEAD também não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro.

MATERIAIS	DUREZA SHORE D
PEAD Puro	61,4 ± 1,2
PEAD + 10% FC _{Trat}	62,4 ± 0,9
PEAD + 20% FC _{Trat}	63,5 ± 1,7
PEAD + 30% FC _{Trat}	63,8 ± 1,1

Tabela 6 – Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e dos compósito PEAD + biomassa de fibra de coco tratada

7. CONCLUSÕES

A - Tratamento químico da fibra de coco

- Pode ser uma alternativa eficiente para ser utilizada como agente de reforço em compósitos poliméricos, melhorando a interface fibra/matriz.

B - Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura

- A adição de biomassa de coco na matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima

C - Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de coco tratada

- Promoveu melhorias significativas nas propriedades mecânicas dos compósitos

D- Índice de fluidez dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura

- Não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos

E - Índice de fluidez dos compósitos reforçados com fibras de coco tratada

- Não promoveu alterações significativas no índice de fluidez nos compósitos

7. CONCLUSÕES

F - Dureza Shore D dos compósitos reforçados com fibras de coco in natura

- Não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparado ao PEAD puro.
- Pode-se concluir que foram obtidos compósitos ecológicos que reduzirão o uso de um polímero de origem de petróleo, a partir da inserção de um resíduo que seria descartado.

G - Dureza Shore D dos compósitos reforçados com fibras de coco tratada

- Não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro.

7. Conclusões

1. Potencial promissor, especialmente em termos de sustentabilidade e eficiência de custo;
2. O apelo sustentável e econômico de sua aplicação;
3. O tratamento químico não impactou significativamente o índice de fluidez nem a dureza Shore D;
4. É uma alternativa viável para o desenvolvimento de compósitos poliméricos, com vantagens ambientais e econômicas, especialmente quando associada a critérios específicos de desempenho mecânico.

8. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

1. Otimização do tratamento químico das fibras de coco
2. Estudo da durabilidade dos compósitos
3. Análise de propriedades térmicas e estruturais
4. Incorporação de aditivos compatibilizantes
5. Análise econômica e ambiental
6. Exploração de outras matrizes poliméricas
7. Aplicações industriais específicas
8. Desenvolvimento de novos métodos de processamento
9. Estudo de compósitos híbridos
10. Exploração de resíduos agroindustriais similares

OBRIGADA!